

# Еще раз о надежности микропроцессорных устройств релейной защиты

Статья является продолжением цикла публикаций автора, посвященных надежности микропроцессорных устройств релейной защиты. Приведенные в статье статистические данные, полученные автором, совпадают с данными других авторов и подтверждают более высокую надежность электромеханических реле по сравнению с микропроцессорными. Отмечен недостаток применяемого в России критерия оценки надежности реле защиты и предложен обобщенный критерий для такой оценки.

## Введение

В своих предыдущих публикациях автор уже неоднократно анализировал ситуацию, связанную с переходом от электромеханической к микропроцессорной релейной защите, рассматривал вопросы, связанные с перспективами и проблемами применения микропроцессорных устройств релейной защиты [1-4]. Весьма острая реакция читателей, часто возникающая после публикации статей автора на эту тему, с одной стороны, и аргументированные ответы автора на критику оппонентов — с другой, показывают, что среди научно-технической общественности, связанной с этой темой, нет единого мнения о перспективах микропроцессорных защит, нет однозначного понимания того, что, как и любое другое сложное устройство, микропроцессорные защиты обладают не только очевидными преимуществами, но и недостатками. В связи с этим, мы посчитали возможным вновь вернуться к этой весьма актуальной теме и познакомить читателей журнала со своими новыми доводами и результатами исследования.

## Мифы и реальность

Одним из широко распространенных мифов [5], объясняющих неизбежность перехода на микропроцессорные защиты, является миф о том, что устройства защиты на электромеханических реле не позволяют обеспечить выполнение технических требований, предъявляемых к релейной защите и дальнейшее существование электроэнергетики уже просто не возможно без микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ).

В действительности, никаких новых функций в релейную защиту МУРЗ не привнесли, а параметры и возможности высококачественных электромеханических и полупроводниковых (то есть статических аналоговых устройств, выполненных на основе дискретных полупроводниковых элементов или с применением интегральных микросхем) полностью обеспечивают потребности релейной защиты. В релейной защите нет таких задач, которые нельзя было бы решить с помощью электромеханических или статических реле. Свидетельством этому является тот факт, что развитые электрические сети и системы существуют и успешно функционируют во всем мире уже более ста лет, тогда как микропроцессорные защиты появились в эксплуатации в сколько-нибудь заметном количестве всего каких-то 10–15 лет тому назад. При этом, с началом применения МУРЗ логика работы энергосистемы не изменилась, не увеличилось количество операций, выполняемых энергосистемой, не изменилось количество вырабатываемой электроэнергии, не изменились принципы передачи и распределения электроэнергии.

Прогресс в развитии электромеханических реле был полностью остановлен 30–35 лет тому назад в связи с тем, что все усилия разработчиков были направлены на создание электронных, а затем и микропроцессорных защит. И дело здесь вовсе не в каких-то принципиальных недостатках электромеханических реле и в их неспособности обеспечивать надежную защиту энергетических объектов, а совершенно в другом. Дело в том, что затраты на полностью роботизированное (вплоть до автоматического тестирования) производство МУРЗ из дешевых электронных комплектов высокой степени интеграции не идет ни в какое сравнение с затратами на производство и ручную сборку из высокоточных механических элементов электромеханических реле, при том, что продажная стоимость МУРЗ остается очень высокой. Вот, например, Российская компания НЭК из Новосибирска ([www.nec.mbit.ru](http://www.nec.mbit.ru)) предлагает контрактную сборку печатных плат с использованием современной технологии поверхностного монтажа со скоростью монтажа 50 000 компонентов в час. Да, да 50 тысяч компонентов в час! Совершенно очевидно, что при наличии такого высокопроизводительного полностью автоматического оборудования производство печатных плат, из которых и состоит МУРЗ, приносит производителям баснословные прибыли по сравнению с производством механических реле. Именно в сфере производства, а не эксплуатации проявляется самое важное преимущество МУРЗ: сверхприбыль производителей. Апологеты скорейшего и повсеместно внедрения МУРЗ часто приводят такие доводы, в пользу последних, как отсутствовавшая у электромеханических реле возможность записи аварийных режимов, возможность обмена информацией между реле и т.п. Но, все это рекламные трюки, не имеющие ничего общего с действительностью. Сегодня на рынке имеются сотни разновидностей микропроцессорных самописцев аварийных режимов, способных передавать данные по сети, которые регистрируют аварийные режимы значительно лучше и полнее, чем это делают МУРЗ; имеются развитые системы передачи информации такие, например, как SCADA, хорошо работающие уже многие годы с электромеханическими реле. В отличие от реле защиты, микропроцессорные самописцы аварийных режимов не способны повлиять на надежность электроснабжения и спровоцировать тяжелые аварии в сети при отказах в работе, поэтому широкое их использование можно только приветствовать.

Следует подчеркнуть весьма важный момент: говоря о не микропроцессорных реле, мы подразумеваем не какие-то конкретные образцы реле, а общий принцип: не использование микропроцессоров и микросхемотехники в реле защиты. А говоря об электромеханических реле — не сильно

устаревшие и изношенные однофункциональные электро-механические реле Российского производства типа РТ-40 или РТ-80, а лучшие образцы реле ведущих западных фирм-производителей. Это очень важный момент во всех наших рассуждениях, поскольку во всех своих доводах апологеты МУРЗ используют в качестве базы для доказательства преимуществ МУРЗ именно эти типы электро-механических реле. Чтобы понять всю абсурдность такого сравнения достаточно вспомнить, что реле РТ-40 — это легкая модификация реле ЭТ-520, разработанного в СССР более 50 лет тому назад. Его конструкция была «заимствована» российскими конструкторами с реле фирмы Сименс, которое производилось в 30-х годах прошлого века. А реле РТ-80 — это практически точная копия реле типа RIK, выпускавшаяся Шведской фирмой ASEA в тех же 30 годах. Чего же можно ожидать от конструкций, разработанных 80 лет тому назад и произведенных к тому же, советской не военной промышленностью из крайне не качественных материалов? Как вообще могла возникнуть мысль сравнивать эти достаточно примитивные устройства, с современными изделиями, произведенными с использованием новейших технологий? Во всяком случае, автору (в отличие от многочисленных оппонентов) такая мысль никогда не приходила в голову. По-видимому, проблема российских оппонентов, критикующих автора, заключается в их очень ограниченном знании электро-механических реле. По существу, ничего, кроме РТ-40 и РТ-80 им не известно. Когда же автор упоминает электро-механические реле, то он имеет ввиду лучшие образцы ведущих мировых компаний производителей, таких как: General Electric, BBC, Siemens, которые он собственными руками проверял, настраивал и ремонтировал.

Автор не сомневается в том, что если бы оппонентам удалось своими собственными руками «пощупать» такой, например, шедевр релестроения, как электро-механическое трехступенчатое реле дистанционной защиты LZ31 или

аналогичные ему после 40 лет эксплуатации в морском субтропическом (то есть с воздействием солевого тумана) климате, то они, несомненно, изменили бы свое мнение об электро-механических реле. Кстати, еще во многих местах эти реле защищают многие ответственные линии напряжением 160 кВ, иногда и параллельно с микропроцессорными реле, рис. 1.

Ситуация в странах бывшего СССР отличается особой сложностью. Нормированные сроки эксплуатации электро-механических реле там уже давно исчерпаны, многие из них находятся в весьма плачевном состоянии и эксплуатационному персоналу приходится предпринимать героические усилия для поддержания работоспособности релейной защиты. В такой ситуации переход на МУРЗ — это единственный вариант, у которого просто нет альтернативы из-за диктата производителей (см. выше). Сегодня на мировом рынке просто не существует электро-механических реле защиты, разработанных с использованием современных материалов и технологий, а все ведущие мировые производители реле защиты полностью перешли на производство исключительно МУРЗ. Вместе с тем, прогресс в области новых материалов и новых компонентов позволяет построить реле защиты на совершенно новых принципах, к которым можно отнести, например, гибридные реле [6]. К сожалению, сегодня производителей МУРЗ, увлеченных все большим функциональным усложнением своих изделий, позволяющим не вкладывая значительных средств, увеличивать стоимость МУРЗ (или на протяжении многих лет не снижать их стоимость), уже практически не возможно заинтересовать какими-то альтернативными видами реле, не способными конкурировать в части прибыльности с МУРЗ. Причем, прибыльность производителя МУРЗ обусловлена не только большой разницей между себестоимостью и продажной ценой МУРЗ, но также и использованием технологии производства (поверхностный монтаж суперминиатюрных элементов и микросхем с повышенной степенью интеграции на многослойной печатной плате) не допускающей ремонта модулей МУРЗ. Вышедший из строя модуль МУРЗ, выполненный по такой технологии, можно только выбросить, заменив его новым. Именно такой подход рекламируется производителями МУРЗ как высокая ремонтпригодность их изделий. Но если учесть, что весь МУРЗ стоимостью 5–15 тыс. долларов состоит из 4–5 таких модулей (отдельных печатных плат), то становится понятным во что обойдется потребителю (то есть энергосистемам) такая «ремонтпригодность». По данным, приведенным в [7], уже сейчас надежной эксплуатации устройств РЗА «препятствуют ... невыполнение заявок служб РЗА на запчасти, существенный рост затрат на РЗ и проверочные устройства к ним в случае применения микропроцессорных устройств РЗА». И это при менее, чем 2% МУРЗ в релейной защите! Что же будет при возрастании процента МУРЗ в общем объеме реле защиты?

Еще одна статья доходов производителей МУРЗ обеспечивается за счет попытки переложить на плечи потребителей технические проблемы МУРЗ, заставив их приобретать дополнительные блоки и модули, направленные на повышение надежности работы МУРЗ. В качестве примера можно привести дополнительные модули питания, рекомендуемые НТЦ «Механотроника» для обеспечения работоспособности МУРЗ при перерывах оперативного питания в течение 0,5 с. Но ведь такое требование предьявляется [8] непосредственно к самому МУРЗ, а не к дополнительным блокам и модулям питания, предлагаемым НТЦ «Механотроника». В п. 4.5.8 [8] совершенно однозначно записано: «Устройства МП РЗА должны сохранять заданные функции без изменения параметров и характеристик срабатывания при перерывах питания длительностью до 0,5 с». Так почему бы производителю не ввести дополнительный конденсатор большой емкости во внутренний источник питания



**Рис. 1.** Фрагмент панели дистанционной защиты ответственных линий 160 кВ, содержащей электро-механические реле типа LZ31 (вверху), включенные на параллельную работу с микропроцессорными защитами типа MiCOM P437 (внизу)

МУРЗ для поддержания его работоспособности в течение 0,5 с при перерывах оперативного питания (тем более, что собственное потребление современных МУРЗ весьма незначительное)? Вопрос, конечно, чисто риторический, ведь совершенно очевидно, что намного выгоднее заставить потребителя раскошелиться на приобретение дополнительного модуля питания, как это рекомендует один из менеджеров НТЦ «Механотроника» в своей статье [9].

Непосредственно с вопросами надежности МУРЗ и их стоимости связан также вопрос о старении и сроке эксплуатации устройств защиты. Для МУРЗ (как и для электромеханических реле) установлен нормативный срок эксплуатации 25 лет [8]. Фактически же, многие электромеханические реле находятся в эксплуатации по 30 и даже 40 лет, в то время как компьютерная техника стареет намного быстрее. Речь идет и о физическом старении электронных компонентов, особенно таких, как электролитические конденсаторы (срок службы которых не превышает 7–10 лет), и особенно о старении программного обеспечения. Так, по данным, приведенным в [10] срок морального устаревания устройств релейной защиты резко снизился с 30 лет, характерных для традиционных электромеханических защит до, примерно, 5 лет для современных МУРЗ, рис. 2. Это означает, что потребители МУРЗ должны будут тратить в будущем на обновление релейной защиты (и физическое и программное) значительно большие суммы и гораздо чаще, чем они делали это раньше при использовании электромеханических защит.

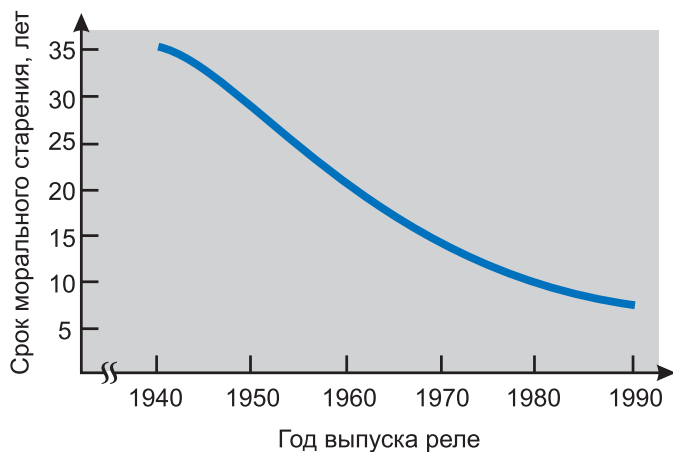


Рис. 2. Тенденция ускорения морального старения реле защиты

Несмотря на отмеченные проблемы, тенденции развития релейной защиты таковы, что широкое и все возраста-

ющее применение микропроцессорных реле защиты неизбежно. При этом поскольку расширение распространения МУРЗ связано не только с необходимостью замены выработавших свои нормативные сроки электромеханических реле, но и с вводом в строй новых энергетических объектов, то последние 10–15 лет во всем мире идет процесс постепенного перехода на устройства релейной защиты нового поколения, выполненные на базе микропроцессоров. Для «проталкивания» на рынок МУРЗ производители этих устройств, а также их многочисленные торговые представители проводят весьма активную рекламную кампанию, всячески восхваляя МУРЗ и принижая достоинства реле других типов. Основным тезисом этих рекламных компаний является утверждение о том, что МУРЗ обеспечивают очень высокую надежность релейной защиты в отличие от старых и сильно изношенных электромеханических реле, доживающих свой век. Вместе с тем, совершенно очевидно, что МУРЗ представляют собой сложные технические комплексы, состоящие из многих тысяч компонентов. Точно так, как и любые другие сложные электронные системы, они не могут не иметь недостатков и не могут обладать абсолютной надежностью, особенно если учесть совсем не «тепличные» условия работы МУРЗ в электрических сетях. Но, если это так, то, наверное, в технической литературе должно было быть достаточно много статей, рассматривающих технические проблемы микропроцессорных реле. Уважаемый читатель, а много ли статей, рассматривающих проблемы МУРЗ, ты читал? Весьма показательным является тот факт, что подавляющее большинство статей в технических журналах, посвященных МУРЗ, написано представителями компаний производителей МУРЗ. Совершенно естественно, что эти публикации представляют собой откровенную или завуалированную рекламу, а вовсе не серьезный анализ проблем с надежностью или других вполне реальных проблем, имеющих у МУРЗ. Более того, поскольку эти же компании являются богатыми рекламодателями, щедро оплачивающими весьма значительные площади журнальных страниц, журналы крайне неохотно принимают к публикации статьи, посвященные критике продукции их рекламодателей, причем иногда даже не стесняясь откровенно заявлять об этом. Сложившаяся ситуация выглядит как некое табу, наложенное на обсуждение этой темы. А если одиночному автору и удается случайно прорваться через этот «железный занавес» [1-4], то на него обрушивается шквал весьма резкой критики, включающей личные выпады и даже обвинения в попытке затормозить технический прогресс в России (как это было после одной из наших публикаций).

Таблица 1. Интенсивность отказов релейной защиты различных видов

Параметр	Электромеханические		Статические		Микропроцессорные	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008
Общее количество реле в эксплуатации	2312		2745		3787	
Количество повреждений	1	4	8	8	43	51
Относительное количество повреждений <sup>1</sup> , %	0,043	0,173	0,291	0,291	1,135	1,347
Среднегодовое относительное количество повреждений <sup>2</sup> , %	0,11		0,29		1,24	
Годовая интенсивность отказов <sup>3</sup>	1		2,6		11,3	

<sup>1</sup> Относительное количество повреждений — отношение количества повреждений реле данного типа к общему количеству реле этого типа, находящихся в эксплуатации.

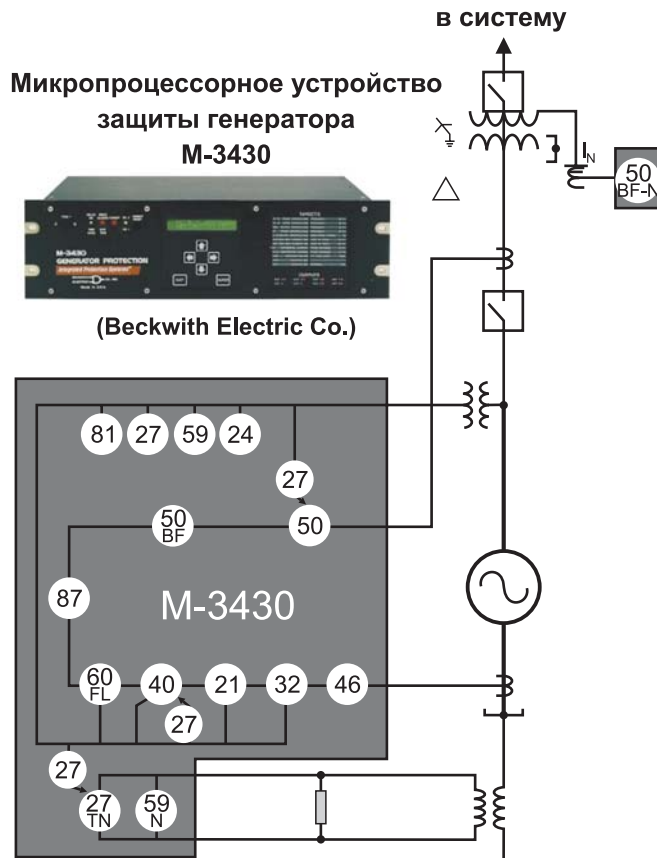
<sup>2</sup> Среднегодовое относительное количество повреждений — среднее за два года (2007—2008) количество относительных повреждений.

<sup>3</sup> Годовая интенсивность отказов — отношение среднегодового относительного количества повреждений реле различных видов к такому же показателю для электромеханических реле (принято за 1).

В своей статье [4] мы уже подробно рассматривали проблемы с надежностью каждого из основных функциональных узлов МУРЗ и показали на конкретных примерах, что так называемая «самодиагностика», которой охвачены якобы 80% узлов МУРЗ, является, по большому счету, рекламным трюком и распространенным мифом. Да, действительно, самодиагностика МУРЗ может выявить некоторые внутренние повреждения, например, такие как выход из строя внутреннего источника питания или микропроцессора. Но как можно всерьез говорить об этом как о великом «преимуществе» МУРЗ перед электромеханическими реле, если в последних вообще не было никаких внутренних источников питания и никаких микропроцессоров, то есть просто нечего было «самодиагностировать»?!

Что же касается модулей МУРЗ со входными трансформаторами тока и напряжения, модулей цифровых входов, модуля с выходными реле, то они, как это показано в [4] не охвачены самодиагностикой. Кроме того, как показано в [4], поскольку система самодиагностики построена на микропроцессорах и элементах памяти, то она сама является источником повреждений МУРЗ. В действительности, самодиагностика не является преимуществом МУРЗ перед электромеханическими реле, а является всего лишь частичной компенсацией очень серьезного недостатка МУРЗ: концентрацией многих защитных функций в одном единственном модуле. Например, единственное МУРЗ типа М-3430, рис. 3, обеспечивает полную защиту генератора электростанции от всех возможных аварийных режимов, совмещая функции 14 отдельных реле защиты. Можно себе только представить, что произойдет, если в аварийном режиме откажет какой-нибудь общий для всех этих реле узел из-за повреждения какой-то копеечной детали: генератор попросту окажется **ВООБЩЕ БЕЗ ВСЯКОЙ ЗАЩИТЫ!** Без самодиагностики такое устройство нельзя было бы и на пушечный выстрел подпускать к защите электроэнергетических объектов. Так что самодиагностика — это вынужденная мера, а вовсе не красивое приложение, поэтому рекламировать ее как некое выдающееся достижение в релейной защите, совершенно не оправдано.

Как ни странно, но никто из оппонентов не стал опровергать конкретные доводы автора [4] по конкретным проблемам конкретных узлов МУРЗ, сосредоточившись лишь на критике некоторых общих сведений и доводов о надежности МУРЗ, заимствованных автором (с соответствующими многочисленными ссылками) у других авторов, исследовавших этот вопрос. В связи с этим мы решили провести собственное исследование, воспользовавшись статистическими данными по отказам реле защиты за 2007—2008 года одной из Западных энергокомпаний.



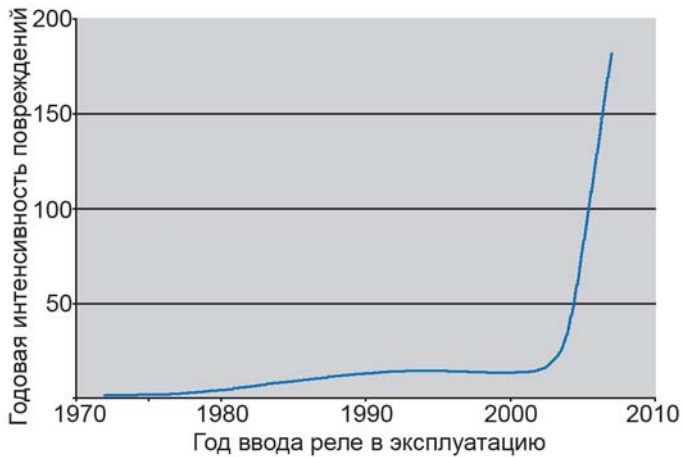
**Рис. 3.** Состав комплектного микропроцессорного устройства защиты генератора типа М-3430 (Beckwith Electric Co.):

- 21 – дистанционная защита;
- 24 – защита от перевозбуждения генератора;
- 27 – реле пониженного напряжения;
- 27TN – реле пониженного напряжения по 3 гармонике;
- 32 – реле направления мощности;
- 40 – реле гашения поля генератора;
- 46 – реле контроля баланса фаз тока;
- 50 – токовая отсечка;
- 50BF – токовое реле контроля исправности выключателя;
- 59 – защита от повышенного напряжения;
- 59N – реле напряжения нулевой последовательности;
- 60FL – реле контроля предохранителей в цепи трансформатора напряжения;
- 81 – реле частоты;
- 87 – дифференциальная защита.

Исходные данные по отказам реле защиты и результаты расчетов приведены в таблицах 1 и 2.

**Таблица 2.** Рост интенсивности повреждений релейной защиты при использовании реле новых типов

Начало ввода в эксплуатацию	Вид реле	Общее количество реле	Повреждения					
			Общее количество		Относительное количество, %		Среднее годовое относительное количество, %	Годовая интенсивность повреждений
			2007	2008	2007	2008		
1970 1975	Электромеханические Различных типов	2312	1	4	0,043	0,173	0,11	1
1975 1980	Статические Различных типов	2745	8	8	0,291	0,291	0,291	2,6
1990 1995	Микропроцессорные Тип 1	1423	19	25	1,33	1,76	1,54	14
2000 2005	Микропроцессорные Тип 2	342	6	5	1,75	1,46	1,61	14,6
2003 2005	Микропроцессорные Тип 3	49	3	1	6,12	2,04	4,08	37
2005 2008	Микропроцессорные Тип 4	10	3	1	30	10	20	182



**Рис. 4.** Тенденция роста интенсивности повреждений МУРЗ новых типов (по данным таблицы 2)

Из анализа приведенных данных и результатов расчетов можно сделать два важных вывода, которые кому-то из читателей могут показаться парадоксальными:

1. Годовая относительная интенсивность отказов микропроцессорных реле защиты намного выше, чем электро-механических.

2. Годовая относительная интенсивность отказов релейной защиты существенно возросла в последние годы в связи с использованием микропроцессорных реле новых типов. То есть, за последние годы имеет место тенденция снижения надежности МУРЗ, рис. 4.

В действительности же, ничего необычного в этих выводах нет. По данным статистики, представленным также и в работе [11], хорошо видно, что статические реле защиты имеют втрое большую повреждаемость, чем электро-механические, а микропроцессорные — в 50 раз большую повреждаемость, табл. 3. Правда, при этом отмечается, что поскольку одна микропроцессорная защита объединяет в себе функции нескольких реле, то это должно учитываться в сравнительной оценке надежности. Например, если принять, что одно МУРЗ выполняет функции 10 одиночных электро-механических реле защиты, то разница между ними в повреждаемости будет уже не в 50, а только в 5 раз. На первый взгляд, такой подход представляется вполне логичным, однако, он не учитывает того обстоятельства, что в МУРЗ имеются общие узлы (источник питания, блок центрального процессора, входные аналоговые электронные цепи и т.п.) повреждения в которых приводят к отказу сразу всех этих 10 виртуальных реле. То есть, весовой фактор одиночного повреждения в многофункциональном МУРЗ во столько же раз (в нашем примере в 10 раз) больше, чем в однофункциональном электро-механическом реле. В этой связи нам представляется возможным, во избежание усложнения картины, продолжать сравнивать интенсивность отказов микропроцессорных и электро-механических реле без учета разницы в количестве выполняемых ими функций.

При этом, еще не учитывался такой важный фактор, как ошибки персонала (то есть, так называемый «человеческий фактор») в программировании реле и при работе с ним. Современные многофункциональные МУРЗ содержат сотни параметров и уставок, десятки входов и выходов, могут выдавать тысячи различного вида сообщений.

В таких условиях количество ошибок, связанных с «человеческим фактором» многократно возрастает. По данным [7] в 2000 г. доля виновности эксплуатационного персонала в неправильных действиях защиты составила 61,6%, включая 40,7%, которые произошли по причинам, зависящим от служб РЗА, 10,9% — по вине оперативного персонала, 10,0% — по вине прочего персонала эксплуатации. И тут же приводится объяснение одной из причин этого: «недостаточная квалификация персонала предприятий

**Таблица 3.** Типичные значения повреждаемости реле защиты различных видов (по данным [11])

Вид реле	Относительное количество повреждений в год, %	Физический срок службы без учета морального старения, лет
Электро-механические	0,1	>30
Электронные (статические) с единичной функцией	0,3	>20
Микропроцессорные системы	5,0	>20

для обслуживания аппаратуры на новой элементной базе». Да, но ведь этой самой «новой элементной базы» сегодня в России всего-навсего менее 2%! Что же будет с возрастанием процента МУРЗ в релейной защите?

Дополнительно усугубляет положение наличие в одной энергосистеме многих типов МУРЗ разных изготовителей, очень существенно отличающихся друг от друга по виду интерфейса, принципам программирования и тестирования. Все это приводит к существенному усложнению процесса перехода от электро-механических к микропроцессорным защитам. В [12] прямо указывается, что «ситуация усложняется еще и тем, что цель такого перехода — значительное повышение эффективности функционирования — как правило, не достигается» и далее: «процент неправильных действий современных панелей и шкафов РЗ часто оказывается существенно выше, чем для старых защит, выполненных на электро-механических реле». По свидетельству [13] «статистика показывает, что внедрение цифровых устройств релейной защиты (УРЗ), несмотря на их существенно лучшие, по сравнению с предшествующими поколениями защит, технические характеристики, не повысило, а во многих случаях даже снизило показатели правильности действия релейной защиты энергообъектов».

При попытке проведения аналогичного, приведенному выше, анализа по повреждениям релейной защиты в России, мы столкнулись с непредвиденной проблемой: оказалось, что в России базовым показателем при оценке надежности релейной защиты является процент ее правильных (или не правильных) действий, а не количество отказов, как в рассмотренном выше случае. Так, например, в [14] отмечается, что в АО «Мосэнерго» на конец 2001 года уже находилось в эксплуатации 2332 терминала микропроцессорных защит 4 фирм-производителей и с 1997 было зарегистрировано 8 случаев неправильной работы МП защит. На основании этого авторы делают вывод о том, что «это указывает на их высокую надежность и высокие эксплуатационные характеристики». В [7] также отмечается, что за основной показатель надежности работы устройств РЗА принят процент их правильной работы. Но разве надежность работы приборов, устройств и систем оценивается по частоте их неправильных действий, а не по количеству отказов их основных внутренних блоков и узлов, делающих невозможным нормальное функционирование устройства или системы? Если с включенного в работу МУРЗ поступил сигнал о повреждении его внутреннего источника питания (что означает невозможность выполнения этим МУРЗ его функций), но при этом не было аварийного режима в сети, контролируемой этим МУРЗ (то есть не было никаких неправильных действий РЗ), то разве это событие не должно фиксироваться как повреждение МУРЗ и учитываться при анализе его надежности? Получается так: если внутреннее повреждение реле совпадает по времени с аварийным режимом в защищаемой сети, то это повреждение будет учтено при оценке надежности, а если не совпадет, то и не будет. Трудно обнаружить логику в таком подходе. Во всяком случае, при таком подходе просто не возможно провести анализ отказов релейной защиты, аналогичный тому, что был проведен нами выше.

По нашему мнению, при оценке реле защиты необходимо учитывать три типа отказов:

1. Отказы реле, не связанные с неправильными действиями РЗ, но требующие ремонта или замены вышедших из строя элементов, блоков и модулей ( $M_S$ ).

2. Неправильные действия релейной защиты то есть излишние срабатывания при отсутствии аварийного режима или несрабатывания при аварийном режиме ( $M_D$ ).

3. Ошибки персонала, связанные с эксплуатацией, тестированием и программированием реле, влияющие на правильность действия релейной защиты, но выявленные до наступления неправильного действия защиты ( $M_P$ ).

Все эти составляющие должны войти, по нашему мнению, в обобщенный нормализованный показатель отказов  $M_{\Sigma}$  релейной защиты:

$$M_{\Sigma i} = \left( \frac{M_{S_i} + M_{D_i} + M_{P_i}}{N_i} \right) \times 100\%,$$

Где  $M_{S_i}$ ,  $M_{D_i}$ ,  $M_{P_i}$  — количество отказов каждого типа для реле  $i$ -го вида за выбранный период времени;

$N_i$  — количество реле  $i$ -го вида, находящихся в эксплуатации в рассматриваемый период времени.

Предлагаемый показатель мог бы послужить инструментом для оценки качества реле защиты при оценке ситуации и принятия решений.

В заключение хотелось бы процитировать известного в мире специалиста в области МУРЗ, бывшего ведущего специалиста ВНИИ Релестроения, долгое время работавшего в компании Siemens, доктора техн. наук, проф. Э. М. Шнеерсона, который в своей монографии [15] на стр. 491 пишет:

*«Само по себе повышение технического уровня УРЗ не обязательно ведет к повышению эффективности в части реагирования на возникающие повреждения. Так, например, уставшие к настоящему времени электромеханические и отчасти электронные статические УРЗ при правильном выборе защитных функций и уставок безусловно обеспечат более эффективную защиту сети, чем микропроцессорные УРЗ без достаточно обоснованного выбора указанных параметров».*

И далее, на стр. 508:

*«Как показывает практика, процент неправильных действий, связанных с использованием цифровых МУР, на первоначальном этапе существенно не уменьшается, а в ряде случаев даже возрастает».*

И в заключение, на стр. 522:

*«...несмотря на существенно более высокое техническое совершенство цифровых УРЗ их реальная эксплуатационная эффективность, особенно на первоначальных этапах, оказывается ниже, чем у защит предыдущих поколений».*

**В. И. ГУРЕВИЧ, канд. техн. наук.**  
**Центральная лаборатория**  
**электрической компании Израила**

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Гуревич В. И. Микропроцессорные реле защиты: новые перспективы или новые проблемы? — Новости электротехники, №6(36)2005.
2. Гуревич В. И. Микропроцессорные реле защиты: альтернативный взгляд. — Электро-Info, 2006, № 4.
3. Гуревич В. И. Как нам обустроить релейную защиту: мнения российских специалистов и взгляд со стороны. — Вести в электроэнергетике, № 2, 2007.
4. Гуревич В. И. Надежность микропроцессорных устройств релейной защиты: мифы и реальность. — Проблемы энергетики, 2008, № 5–6.
5. Гуревич В. И. Ответ автора статьи «Надежность микропроцессорных устройств релейной защиты: мифы и реальность» на рецензию О. Г. Захарова (<http://www.rza.org.ua/article/print-64.html>), 20.02.2009.
6. Гуревич В. И. Гибридные герконо-полупроводниковые устройства — новое поколение реле защиты. — Проблемы энергетики, № 9–10, 2007.
7. Коновалова Е. В. Основные результаты эксплуатации устройств РЗА энергосистем Российской Федерации. — Релейная защита и автоматика энергосистем 2002. Сборник докладов XV Научно-технической конференции, Москва, 2002, с. 19–23.
8. Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматике энергосистем — РД 34.35.310-97, Москва, 1997.
9. Гуревич В. И. Отзыв на статью О. Г. Захарова «Комбинированные блоки питания. Характеристики выходных цепей» (<http://www.rza.org.ua/article/print-69.html>), 10.04.2009.
10. Heising C. R., Patterson R. C., Weintraub E. Y. Digital Relay Software Quality. — General Electric, GER-3660.
11. Heising C. R., Patterson R. C. Reliability Expectations for Protective Relays. Developments in Power Protection. Fourth International Conference in Power Protection, 11–13 Apr., 1989, Edinburgh, UK.
12. Шалин А. И. Об эффективности новых устройств РЗА. — Энергетика и промышленность России — избранные материалы, вып. 203.
13. Шнеерсон Э. М. Эксплуатационная эффективность устройств релейной защиты: реальность и возможности. — Энергоэксперт, № 4–5, 2007, с. 70–77.
14. Кудряшов В. Н., Балашов В. В., Королев А. Г., Сдобин А. В. Опыт внедрения микропроцессорных защит в Мосэнерго. — Релейная защита и автоматика энергосистем 2002. Сборник докладов XV Научно-технической конференции, Москва, 2002, с. 7–8.
15. Шнеерсон Э. М. Цифровая релейная защита. — Энергоатомиздат, М., 2007.